

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И РАЗМЕРНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Тришина Т.В., Козлов В.Г., Трухачев В.И.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», (394087 г. Воронеж, ул. Мичурина, 1), t.v.trishina@gmail.com

В статье проведен анализ механической обработки поверхностей деталей из древесных материалов точением. Определены недостатки точением известными резцами. С целью повышения качества обрабатываемых поверхностей и снижения энергетических затрат решается задача по совершенствованию конструкции суппортного токарного резца. Предложенная конструкция нового суппортного токарного резца решает задачу расширения функциональных возможностей резца с одновременным улучшением качества обработки поверхностей детали. Выполнение головки резца неизогнутой, а отогнутой, чистового клина с прямолинейным участком, и выдерживая расстояние между черновой и чистовой вершинами обеспечивает полную обработку деталей из древесины и материалов на ее основе одним резцом как точение заготовки, так и обработку торца, снятие фаски и т.д., что сокращает рабочее время на изготовление детали, а, следовательно, повышает производительность труда. Конструкция резца повышает его жесткость, что повышает качество обработки поверхности детали. Решается задача определения наилучших величин параметров нового резца – составная часть задачи выбора оптимальных условий обработки резанием, на основе использования теории подобия и размерностей составлено критериальное уравнение, учитывающее влияние параметров резца и режимов резания на качество обрабатываемой поверхности детали. Использование векторного понимания размерности физических величин позволило уменьшить количество основных единиц до семи, что упростило получение математической модели исследуемого процесса и создало предпосылки для полного решения поставленной задачи.

Ключевые слова: древесные материалы, суппортный токарный резец, теория подобия, интегральный критерий качества.

APPLICATION OF THE THEORY OF SIMILARITY AND DIMENSION FOR DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF A CUTTER AND THE MODES OF CUTTING WHEN PROCESSING WOOD

Trishina T.V., Kozlov V.G., Trukhachev V.I.

Voronezh state agricultural university of a name of the emperor Peter I (394087 of Voronezh, Michurin St., 1) t.v.trishina@gmail.com

In article the analysis of machining of surfaces of details from wood materials is carried out by turning. Shortcomings by turning by known cutters are defined. For the purpose of improvement of quality of the processed surfaces and decrease in power expenses the problem of improvement of a design of a support turning cutter is solved. The offered design of a new support turning cutter solves a problem of expansion of functionality of a cutter with simultaneous improvement of quality of processing of surfaces of a detail. Performance of a head of a cutter not curved, and unbent, a fair wedge with a straight section, and maintaining distance between draft and fair tops provides full processing of details from wood and materials on its basis with one cutter as preparation turning, and processing of an end face, removal of a facet, etc. that reduces working hours by production of a detail and consequently, increases labor productivity. The design of a cutter increases its rigidity that increases quality of processing of a surface of a detail. The problem of determination of the best sizes of parameters of a new cutter – a component of a problem of a choice of optimum conditions of processing is solved by cutting, on the basis of use of the theory of similarity and dimensions the criteria equation considering influence of parameters of a cutter and the modes of cutting on quality of the processed detail surface is worked out. Use of vector understanding of dimension of physical quantities allowed to reduce quantity of the main units to seven that simplified receiving mathematical model of the studied process and created prerequisites for the full solution of an objective.

Keywords: wood materials, support turning cutter, theory of similarity, integrated criterion of quality.

В настоящее время древесные материалы широко применяют в качестве заменителей металлов при изготовлении различных деталей машин и оборудования: втулок, вкладышей подшипников, направляющих, уплотнительных колец и др. Использование таких деталей в машинах улучшает их эксплуатационные показатели, облегчает управление ими и труд рабочего при ремонте и замене узлов, снижает шум и вибрации, создает удобства в работе. Кроме того, применяемые в строительстве деревянные конструкции часто являются не столько несущими, сколько декоративными. Все это обуславливает предъявление повышенных требований к качеству древесины.

Точение – один из распространенных способов формирования поверхностей деталей из древесных материалов как на предварительных, так и на окончательных операциях их изготовления. Однако известные конструкции режущего инструмента, их формы и величины геометрических параметров не позволяют получить качественную поверхность обработки за один проход при высокой производительности [2].

Теоретический анализ. В Воронежском ГАУ в течение многих лет ведутся работы по совершенствованию конструкций режущего инструмента для обработки древесины и материалов на ее основе [6, 7, 9, 10]. Работа в этом направлении позволила предложить новый суппортный токарный резец [7] с криволинейным лезвием (рисунок 1 б, в). Режущая часть резца состоит из режущей фасонной части 1, режущего клина 2, державки 3. Резец имеет следующие основные углы: α, α' – задние углы фасонной части 1 и чистового клина резца 2; γ, γ' – передние углы фасонной части 1 и чистового клина резца 2; λ, λ' – угол опускания фасонной части резца 1 и угол подъема чистового клина 2; R – радиус изгиба режущей кромки; L – расстояние между черновой и чистовой вершинами резца, B – ширина режущей кромки чистового клина 2.

Суппортный токарный резец работает следующим образом: при точении ниже линии центров обеспечивается определенная глубина чистового резания и фиксация снимаемого слоя между передней поверхностью фасонной части резца и припуском чистового точения, так что фасонная часть 1 режет по принципу свободного резания, при этом ведется одновременная обработка клином, однако в отличие от прототипа выявленное расстояние между черновой и чистовой вершинами резца исключает образование опережающих трещин в направлении обработанной поверхности, а следовательно, и уменьшение шероховатости, выполнение ширины режущей кромки чистового клина 2 в установленных пределах исключает образование обработочных рисок [1].

Предложенный новый суппортный токарный резец позволяет повысить качество обработки и увеличить стойкость инструмента. Это достигается тем, что на суппортном токарном резце, содержащем державку с фасонной частью, задний угол которой равен

10...15°, передний угол 45...50° на торце резца по всей его ширине выполнен режущий клин, имеющий угол подъема режущей кромки для мягких пород древесины 55...60°, для твердых 45...50°, а на фасонной части резца угол опускания режущей кромки 10...15°, согласно изобретению, головка резца выполнена отогнутой, режущий клин содержит участок с прямолинейной режущей кромкой, ширина которой 6...10 мм, причем расстояние между черновой и чистовой вершинами резца для мягких пород древесины 3...5 мм, для твердых – 1...3 мм. Выполнение головки резца не изогнутой, а отогнутой обеспечивает, по сравнению с прототипом, повышение жесткости конструкции, что в свою очередь позволяет уменьшить величину погрешности формы изготавливаемых деталей. Выполнение чистового клина с прямолинейной режущей кромкой позволяет, по сравнению с прототипом, уменьшить шероховатость обработанной поверхности путем сглаживания микровыступов.

Экспериментально было установлено, что предлагаемая конструкция головки резца, интервалы значений ширины режущей кромки чистового клина и расстояние между черновой и чистовой вершинами резца, приведенные в предлагаемой формуле изобретения, являются оптимальными и позволяют получить, по сравнению с прототипом, обработанную деталь с наименьшими значениями величины погрешности формы и шероховатости, а именно – изготовление головки резца неизогнутой, а отогнутой, чистового клина с прямолинейной режущей кромкой шириной 6...10 мм, причем расстояние между черновой и чистовой вершинами резца для мягких пород древесины 3...5 мм, для твердых – 1...3 мм – обеспечивают достаточную жесткость конструкции, уменьшение гребешков обработочных рисок и наилучшую фиксацию черновой стружки между передней поверхностью резца и припуском чистового точения. Анализ взаимодействия признаков предлагаемого суппортного токарного резца при его работе в производственных условиях позволяет сделать вывод о его промышленной применимости [5].

Методика. В связи с изложенным нами была поставлена задача определения наилучших величин параметров нового резца – составная часть задачи выбора оптимальных условий обработки резанием. К числу переменных факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество детали, было отнесено девять факторов: L – расстояние между чистовой и черновой вершинами резца; S – подача резца при точении заготовки; n – частота вращения; D – диаметр заготовки; t – глубина резания; μ – микротвердость обрабатываемого материала; λ' – угол наклона чистового клина; λ – угол наклона главной режущей кромки; γ – главный передний угол.

Обоснованием выбора установленных переменных факторов явилось то, что при продольном резании изменение значений переднего угла чистового клина резца γ влияет на границы зон деформаций, как впереди режущего лезвия инструмента, так и ниже плоскости

резания. Изменение объема деформаций безусловно связано с изменением составляющих усилий резания, а перераспределение главных напряжений деформаций при изменении геометрии инструмента влияет на качество обработки. Изменение угла опускания λ и угла подъема λ' главной режущей кромки резца обеспечивает фиксацию слоев на поверхности обработки и резание по ней со скольжением, что исключает образование нерегулярных неровностей обработки.

Изменение диаметра обрабатываемой детали – D , оборотов шпинделя n и подачи – S влияет на силовые, энергетические показатели и качественные показатели процесса резания. Эти выводы, основанные на результатах экспериментальных исследований многих ученых, не однозначны, а в ряде случаев противоречивы. Неоднозначность и противоречивость мнений о влиянии этих факторов на силовые и энергетические показатели процесса резания объясняются недостатками методики экспериментов и неидентичными условиями их проведения.

Постоянными факторами были установлены: вид обрабатываемого материала, влажность, температура, жесткость системы СПИД, направление резания (вдоль волокон).

В качестве основных выходных параметров, определяющих качество поверхности, выбраны: физические параметры поверхностного слоя – макронеровности обработки – погрешность формы (отклонение от цилиндричности) и микронеровности обработки – шероховатость.

Для установления степени комплексного влияния перечисленных факторов на выходные параметры в широких пределах при большой структурной неоднородности обрабатываемого материала требуется применение математических методов обобщения результатов. Первоначально была поставлена задача получения многофакторных зависимостей, с помощью которых можно исследовать влияние режимов резания на шероховатость поверхности, погрешность формы.

В общем виде (см. рисунок 1 *a*) интегральный критерий качества обрабатываемой поверхности зависит от ряда параметров:

$$MR = \varphi(L; S; n; D; \mu; \gamma; \lambda; \lambda'; t), \quad (1)$$

где MR – интегральный критерий качества, учитывающий погрешность формы и шероховатость поверхности; L – расстояние между чистовой и черновой вершинами резца, м; S – подача резца при точении заготовки, м; n – частота вращения, c^{-1} ; D – диаметр заготовки, м; t – глубина резания, м; μ – микротвердость обрабатываемого материала, H/m^2 ; λ' – угол наклона чистового клина; λ – угол наклона главной режущей кромки; γ – главный передний угол.

Из уравнения (1) следует, что критерий качества есть функция девяти факторов. Для получения математической модели процесса формирования поверхности детали воспользуемся теорией подобия и размерностей, которая дает возможность оперировать с таким большим количеством факторов [12]. Получить полное решение этой задачи с точностью до постоянной возможно, если разность между числом существенных для процесса переменных и числом основных величин равна единице. В классическом варианте формула размерности всех производных величин получается за счет использования трех основных величин, которые рассматриваются как скалярные: $[L]$ – размерность длины; $[M]$ – размерность массы; $[T]$ – размерность времени [11, 12].

Для увеличения числа основных единиц воспользуемся понятием, что многие величины являются векторными, т.е. обладают свойством направленности. Так, за счет разложения размерности длины $[L]$ по трем направлениям $[L_x]$, $[L_y]$ и $[L_z]$, количество основных величин увеличивается в совокупности до пяти. Структурная связь между

скалярным и векторным пониманием длины имеет вид

$$[L]^k = [L_x]^\alpha \cdot [L_y]^\beta \cdot [L_z]^\gamma \left. \vphantom{[L]^k} \right\} \text{ При}$$

$$k = \alpha + \beta + \gamma$$

симметрии по всем осям $\alpha = \beta = \gamma = \frac{k}{3}$. В случае её отсутствия равенство нарушается и возникает вопрос об исключении асимметричности из формулы размерности.

Определим размерности величин, входящих в уравнение (1), с учетом направления их действия. Размерность расстояния $[L]$ и подачи $[S]$ имеет вид L_x , т.к. их определяющий размер расположен по оси OX (см. рисунок). Размерность частоты вращения $[n]$ в скалярной форме имеет вид T^{-1} , а в векторной, с учетом, что ось вращения детали совпадают с осью OX , может быть записана как $L_y L_z^{-1} T^{-1}$ [3].

Диаметр заготовки $[D]$ характеризуется протяженностью в двух направлениях L_y и L_z , который ради сохранения осевой симметрии относительно оси X должен быть равнозначным в обоих направлениях. Формула размерности диаметра в этом случае имеет вид

$[D] = \sqrt{L_y \cdot L_z} = L_y^{\frac{1}{2}} \cdot L_z^{\frac{1}{2}}$ / Размерность глубины резания $[t]$ – L_y . В векторной форме плоский угол может быть описан как отношение направлений по соответствующим осям. Так, размерность угла наклона чистового клина $[\lambda^1]$ имеет вид $L_x^{-1} L_z$, угла наклона главной режущей кромки $[\lambda]$ – $L_x^{-1} L_z$ и главного переднего угла $[\gamma]$ – $L_y^{-1} L_z$.

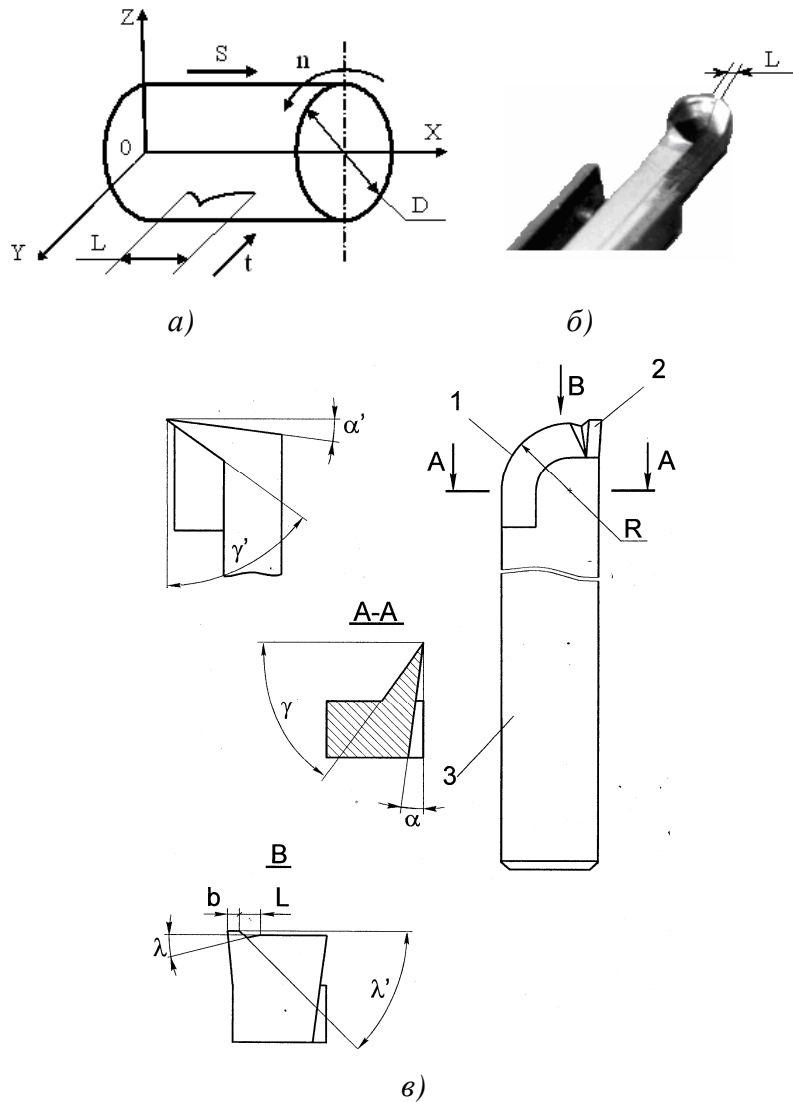
При совпадении направления точения (подачи S) с осью X размерность микротвердости имеет осевую симметрию относительно этого направления. Для ее отражения запишем размерность микротвердости для каждой плоскости:

$$[\mu_z] = \frac{L_z \cdot M \cdot T^{-2}}{L_y \cdot L_x} = L_z \cdot L_y^{-1} \cdot L_x^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}, \quad [\mu_y] = \frac{L_y \cdot M \cdot T^{-2}}{L_z \cdot L_x} = L_y \cdot L_x^{-1} \cdot L_z^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$$

Для выполнения требований симметрии имеем $[\mu] = \sqrt{[\mu_z] \cdot [\mu_y]} = L_x^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}$

В соответствии с π -теоремой число безразмерных критериев сократится до четырех, и уравнение (1) в критериальной форме примет вид $MR = \Phi(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4)$, (2)

В качестве основных параметров выделим S , n , t , μ , γ , которые определяют собой скоростной (n) и силовой (S и t) режимы резания, учитывают физико-механические свойства материала (μ) и параметры резца (γ) [4].



Основные параметры резца и режимы резания, влияющие на качество обрабатываемой поверхности детали

На их основе образуем безразмерные критерии:

$$\Pi_1 = \mu^{a_1} \cdot n^{b_1} \cdot S^{c_1} \cdot t^{d_1} \cdot \gamma^{e_1} \cdot L, \quad (3) \quad \Pi_2 = \mu^{a_2} \cdot n^{b_2} \cdot S^{c_2} \cdot t^{d_2} \cdot \gamma^{e_2} \cdot D, \quad (4)$$

$$\Pi_3 = \mu^{a_3} \cdot n^{b_3} \cdot S^{c_3} \cdot t^{d_3} \cdot \gamma^{e_3} \cdot \lambda, \quad (5) \quad \Pi_4 = \mu^{a_4} \cdot n^{b_4} \cdot S^{c_4} \cdot t^{d_4} \cdot \gamma^{e_4} \cdot \lambda^1 \quad (6)$$

Для определения показателей степеней, входящих в эти уравнения, распишем каждое уравнение через размерности его членов. Примем показатели степени последнего члена в третьем и последующих уравнения (4–6) для π -критериев, равным единице [8].

$$[L_x^0 \cdot L_y^0 \cdot L_z^0 \cdot M^0 \cdot T^0] = [L_x^{-1} \cdot M \cdot T^{-2}]^{a_1} \cdot [L_y \cdot L_z^{-1} \cdot T^{-1}]^{b_1} \cdot [L_x]^{c_1} \cdot [L_y]^{d_1} \cdot [L_y^{-1} \cdot L_z]^{e_1} \cdot L_x$$

После преобразования получим

$$[L_x^0 \cdot L_y^0 \cdot L_z^0 \cdot M^0 \cdot T^0] = L_x^{-a_1+c_1+1} \cdot L_y^{b_1+d_1-e_1} \cdot L_z^{-b_1+e_1} \cdot M^{a_1} \cdot T^{-2a_1-b_1}$$

Приравняв показатели степеней в размерностях правой и левой частей уравнения, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} -a_1 + c_1 + 1 = 0 \\ b_1 + d_1 - e_1 = 0 \\ -b_1 + e_1 = 0 \\ a_1 = 0 \\ -2a_1 - b_1 = 0 \end{cases}$$

Решая систему, имеем $a_1 = 0$; $b_1 = 0$; $c_1 = -1$; $d_1 = 0$; $e_1 = 0$. Отсюда $\Pi_1 = \frac{L}{S}$.

Аналогично уравнению (3) решены уравнения (4–6). В результате имеем

$$\Pi_2 = \frac{D}{\sqrt{\gamma}}; \quad \Pi_3 = \frac{S\lambda}{t\gamma}; \quad \Pi_4 = \frac{S\lambda^1}{t\gamma}.$$

Подставляя полученные значения π -критериев в уравнение (2), в безразмерном виде имеем:

$$MR = \Phi\left(\frac{L}{S}; \frac{D}{\sqrt{\gamma}}; \frac{S\lambda}{t\gamma}; \frac{S\lambda^1}{t\gamma}\right) \quad (7)$$

Воспользуемся одним из важных свойств π -критериев, которое заключается в их способности трансформироваться в критерии другой формы путем операции перемножения.

В результате преобразования уравнение (7) примет вид $MR = \frac{LDS\lambda\lambda^1}{t^2\gamma^2\sqrt{\gamma}}$

Выводы. Таким образом, предложенная конструкция нового суппортного токарного резца решает задачу расширения функциональных возможностей резца с одновременным

улучшением качества обработки поверхностей детали. Выполнение головки резца неизогнутой, а отогнутой, чистового клина с прямолинейным участком, и выдерживая расстояние между черновой и чистовой вершинами, обеспечивает полную обработку деталей из древесины и материалов на ее основе одним резцом, как точение заготовки, так и обработку торца, снятие фаски и т.д., что сокращает рабочее время на изготовление детали, а следовательно, повышает производительность труда. Конструкция резца повышает его жесткость, что повышает качество обработки поверхности детали.

На основе использования теории подобия и размерностей составлено критериальное уравнение, учитывающее влияние параметров резца и режимов резания на качество обрабатываемой поверхности детали. Использование векторного понимания размерности физических величин позволило сократить количество основных единиц до семи, что упростило получение математической модели исследуемого процесса и создало предпосылки для полного решения поставленной задачи.

Список литературы

1. Амалицкий В.В. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий / В.В. Амалицкий, В.И. Санев. – М.: Экология, 1992. – 480 с.
2. Зотов Г.А. Подготовка и эксплуатация дереворежущего инструмента/ Г.А. Зотов, Ф.А. Швырев. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 301 с.
3. Козлов В.Г. Металлорежущее оборудование, инструмент и приспособления / В.Г. Козлов, Т.В. Тришина, Е.В. Кондрашова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 215 с.
4. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов / В.И. Любченко. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 296 с.
5. Обоснование выбора конструкции и геометрических параметров резца для обработки древесины/ В.В. Кузнецов [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. – 1999. – № 1. – С. 11-13.
6. Пат. 2075378 (С1) Российская федерация, МПК: 6 В 27 G 15/00. Суппортный токарный резец/ В.В.Кузнецов, В.К.Павлов, Т.В. Тришина; патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. – 95109193/15; заявл. 31.05.1995; опубл.20.03.1997; бюл. № 8. – 5 с.
7. Пат. 2172669 (С1) Российская федерация, МПК: 7В 27G 15/00 А. Суппортный токарный резец/ В.В.Кузнецов, В.К.Павлов, Т.В. Тришина; патентообладатель Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки. – 2000111679/13; заявл. 10.05.2000; опубл.27.09.2001; бюл. № 24.– 5 с.

8. Пат. на изобретение RUS 2325233. Пневмоиндукционный сепаратор / В.В. Кузнецов, В.Г. Козлов, О.С. Мальчикова. Опублик. 11.12.2006.
9. Тришина Т.В. К вопросу снижения энергетических затрат на процесс резания при обработке анизотропных материалов инструментом с криволинейным лезвием [Текст]/ Т.В. Тришина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. научн. тр. по матер. междунар. заочн. научно-практич. конф. – 2014. – № 3. – Ч.4. Междунар. научно-техн. конф. «Эколого-ресурсосберегающие технологии и системы в лесном и сельском хозяйстве» / ВГЛТА. – Воронеж, 2014. – С. 366-370.
10. Тришина Т.В. К вопросу технологии обработки прессованной древесины [Текст]/ Т.В. Тришина// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. научн. тр. по матер. междунар. заочн. научно-практич. конф. – 2014. – № 5. – Ч.4. Междунар. научно-техн. конф. «Техника и технологии – мост в будущее» / ВГЛТА. – Воронеж, 2014. – С. 341-344.
11. Тришина Т.В. Совершенствование режущего инструмента для токарной обработки древесных материалов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.21.05)/ Татьяна Владимировна Тришина. – Воронеж, 1999. – 16 с.
12. Трухачев В.И. Применение теории подобия и размерности для определения КПД делителя потока [Текст]/ В.И. Трухачев // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей: сб. науч. тр. междунар. научно-технич. конф. – Санкт-Петербург, 2003. – С. 318- 322.

Рецензенты:

Афоничев Д.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж;

Кондрашова Е.В., д.т.н., профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж.